

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Геологический факультет

УТВЕРЖДАЮ
И.о. декана Геологического факультета
Чл.-корр. РАН
_____/Н.Н.Еремин
« _____ » _____ 2022

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«Инструментальные методы исследования кристаллического вещества»

Автор-составитель: Копорулина Е.В.

Уровень высшего образования:
Бакалавриат

Направление подготовки:
05.03.01 Геология

Направленность (профиль) ОПОП:
Геохимия

Форма обучения:
Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методическим Советом Геологического факультета
(протокол № _____, _____)

Москва 2022

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Геология» «Кристаллография и кристаллохимия» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки*). (*программы магистратуры*).

ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В.Ломоносова от __ декабря 2021 года (протокол №__).

Год (годы) приема на обучение: 2022

Цель и задачи дисциплины

Целью освоения дисциплины «Инструментальные методы исследования кристаллического вещества» является получение студентами фундаментальных знаний о теоретических основах и практических возможностях основных физических методов исследования морфологии, состава, строения и электронной структуры неорганических кристаллических веществ (минералов и синтетических соединений).

Задачи дисциплины:

Знакомство с физическими принципами основных методов исследования кристаллических веществ.

Формирование четких критериев обоснованного выбора оптимального способа исследования конкретного объекта на основе проведения сравнительной оценки возможностей разных методов анализа, их информативности и ограничений. Приобретение навыков планирования комплексных исследований при выполнении квалификационных работ в области кристаллографии и роста кристаллов.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО вариативная часть, профессиональный цикл, обязательные профессиональные дисциплины, курс – III, семестр V.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия: освоение дисциплин «Физика», «Химия», «Кристаллография», «Кристаллохимия», «Рентгеноструктурный анализ», «Минералогия».

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины (модуля):

ОПК-3.Б Способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки (формируется частично);

ПК-2.Б Способность использовать знание теоретических основ фундаментальных геологических дисциплин при решении научно-исследовательских задач профессиональной деятельности (формируется частично).

СПК-1.Б Способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации в области наук геохимического цикла

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

Знать: физические принципы основных методов изучения морфологии, состава и строения кристаллических веществ; области применения, точность и ограничения методов; специфику отбора и подготовки образцов (проб) для каждого из методов.

Уметь: грамотно выбирать метод исследования и/или определять последовательность методов при комплексном изучении в зависимости от научно-исследовательских или практических задач в области характеристики природных и синтетических кристаллических объектов; обрабатывать, анализировать и корректно интерпретировать полученные результаты.

Владеть: практическими и инструментальными навыками работы с кристаллическими объектами, методикой получения научной и практической информации на основе имеющихся аналитических данных; способами обработки и представления полученной аналитической информации.

4. Формат обучения: лекционные и семинарские занятия

5. Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетные единицы, 108 часов, 2 часа в неделю, в том числе 32 академических часа, отведенные на контактную работу обучающихся с преподавателем (16 часов – занятия лекционного типа, 16 часов – занятия

семинарского типа, **76** академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся. Мероприятия по текущему контролю успеваемости проводятся в рамках семинарских занятий. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

6. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
Краткое содержание дисциплины (аннотация)

В рамках курса «Инструментальные методы исследования кристаллического вещества» студенты получают возможность познакомиться с теоретическими аспектами современных физико-химических методов исследования морфологии, состава и строения кристаллических веществ. В круг рассматриваемых методов входят наиболее востребованные в современных исследованиях методы микроскопии (оптическая, аналитическая сканирующая и сканирующая зондовая микроскопии), рентгеновский микроанализ, спектроскопические методы исследования состава и структуры природных и синтетических кристаллических объектов (ИК-спектрометрия, спектроскопия комбинационного рассеяния, атомно-эмиссионная и атомно-абсорбционная спектрометрия, масс-спектрометрия, рентген-флуоресцентный и рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, люминесцентная спектроскопия), а также термический анализ. Полученные теоретические знания подкрепляются разбором конкретных исследовательских задач, решенных с применением того или иного метода, во время которого студенты получают навыки подготовки проб для исследования и обработки аналитического материала.

Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и темам, а также видам учебной работы (формам проведения занятий) с указанием форм текущего контроля и промежуточной аттестации

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы (виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Раздел 1. Введение. Краткий обзор и значение современных физико-химических методов исследования морфологии, состава и структуры кристаллических веществ.		2		2 Устный опрос	4	Работа с материалами лекций и литературой, рекомендованной по данному разделу, подготовка к устному опросу, 8 часов
Раздел 2. Микроскопия		4		4 Устный опрос	8	Работа с материалами лекций и литературой, рекомендованной по данному разделу. Подготовка к устному опросу, 12 часов Изучение микроморфологии кристаллических объектов методами оптической микроскопии. Получение и

						описание их изображений, 8 часов Анализ и описание электронных изображений монокристаллов, монофазных поликристаллических сростков и образцов, представленных смесью различных фаз, 12 часов Обработка и анализ данных сканирующей зондовой микроскопии, 12 часов.
Раздел 3. Спектроскопические методы исследования состава и структуры		8		8 Устный опрос	16	Работа с материалами лекций и литературой, рекомендованной по данному разделу. Подготовка к устному опросу, 12 часов
Раздел 4. Термический анализ		2		2 Устный опрос	4	Работа с материалами лекций и литературой, рекомендованной по данному разделу. Подготовка к устному опросу, 12 часов.
		16		16		
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>						
Итого	108			32		76

Содержание разделов дисциплины:

1. Введение. Краткий обзор современных методов исследования морфологии, состава и структуры кристаллических веществ.

Классификация рассматриваемых в рамках курса микроскопических, спектроскопических и масс-спектроскопических методов по задачам исследования, получаемой информации, локальности, объектам анализа и пределам обнаружения. Общие сведения о типах анализируемых проб и способах их подготовки.

2. Микроскопия

Пространственное разрешение и увеличение в микроскопии. Сравнительная характеристика различных методов макро- и микроскопического исследования кристаллических объектов с точки зрения достигаемых разрешений (размерности исследуемых объектов), рабочей среды и степени воздействия на образец.

Оптическая микроскопия, формирование оптического изображения, монокулярное и бинокулярное наблюдение, исследование образцов в проходящем и отраженном свете. Конфокальная сканирующая лазерная микроскопия. Пробоподготовка.

Сканирующая электронная микроскопия. Устройство и принцип работы сканирующего электронного микроскопа. Принцип формирования изображения в растровом электронном микроскопе, его разрешение, основные типы регистрируемых сигналов; анализ изображений, полученных во вторичных и отраженных электронах; способы подготовки образцов для исследования в сканирующем электронном микроскопе: полировка поверхности, напыление проводящего покрытия, использование проводящих подложек и др. Метод дифракции отраженных электронов (EBSD) в реализации на сканирующем электронном микроскопе. Анализ моно- и поликристаллических материалов. Интерпретация характеристик дифракционных изображений в методе EBSD: темные и светлые полосы, узлы, полосы Кикучи и их угловая ширина. Индексирование дифракционных картин в методы EBSD. Преобразование Хафа. Алгоритмы поиска решений при анализе дифракционных изображений Кикучи – определения фазы и ее ориентации. Факторы, определяющие качество дифракционных картин: качество изучаемой поверхности (подготовка образцов), параметры первичного пучка электронов, пространственное разрешение.

Электронно-зондовый микроанализ: задачи, решаемые с его помощью и преимущества перед другими аналитическими методами. Основы микрорентгеноспектрального анализа в микроскопах с энергодисперсионным и волновым спектрометрами и методика расчета формул соединения по полученным данным. Особенности подготовки образцов.

Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ). Общие принципы работы сканирующего зондового микроскопа; сканирующая туннельная и атомно-силовая микроскопия; разрешающая способность атомно-силового и туннельного микроскопа; основные методики атомно-силовой микроскопии: контактная, бесконтактная и полуконтактная; источники искажений изображения в атомно-силовой микроскопии. Требования к образцам, исследуемым методом сканирующей зондовой микроскопии. Обработка и анализ изображений СЗМ.

Раздел 3. Спектроскопические методы исследования состава и структуры

Методы молекулярного спектрального анализа: ИК-спектрометрия и спектроскопия комбинационного рассеяния (КРС). Основные отличия атомной и молекулярной спектроскопии. Валовый и локальный анализ. Типы движения молекул и правила отбора. Области применения колебательной спектроскопии и подготовка образцов для ИК и КРС.

Атомно-эмиссионная и атомно-абсорбционная спектрометрия. Области применения, преимущества и ограничения методов. Сравнительная характеристика методов: механизм и источники возбуждения спектров, схема аналитического процесса, требования к лабораторной пробе, особенности подготовки проб для анализа.

Масс-спектрометрические методы анализа. Физические основы метода и области применения. Типы масс-анализаторов. Преимущества и ограничения методов. Процедура подготовки к масс-спектрометрическому анализу: способы ионизации в зависимости от задачи исследования, устройства ввода жидких и твердых проб. Различные типы масс-анализаторов (статические и динамические). Режимы детектирования и детекторы ионов.

Рентгеновская спектроскопия: рентгенфлуоресцентный анализ (РФА) и рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Характеристики рентгеновского излучения и особенности его взаимодействия с веществом. Виды РФА (качественный, количественный, полуколичественный). Рентгенфлуоресцентные спектрометры: виды и принцип работы. Область применения и ограничения метода РФА и подготовка проб для анализа. Основные задачи РФЭС и ее место среди других видов спектроскопии. Основные задачи, решаемые с помощью РФЭС и ограничения метода. Понятие «поверхность», глубина анализа методом РФЭС и определяющие ее факторы. Химический сдвиг и возможность определения степени окисления и координации элементов в различных соединениях. Требования к состоянию (чистоте) поверхности и способы ее подготовки для исследования.

Люминесцентная спектроскопия. Люминесценция как явление, отличие от теплового излучения. Классификация люминесценции по способу возбуждения, длительности и механизму элементарного процесса. Области применения методов исследования, основанных на люминесценции. Основные закономерности молекулярной люминесценции: правило Каши, кинетика затухания люминесценции, закон Стокса, правило Левшина. Характеристики люминесценции: время жизни, энергетический выход, квантовый выход. Тушение люминесценции: определение и механизмы (концентрационное, температурное и тушение посторонними веществами). Регистрация спектров люминесценции и их анализ (качественный и количественный).

Раздел 4. Термический анализ

Понятие и виды термического анализа. Дифференциально-термический анализ (ДТА), дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК), синхронный термический анализ (СТА). Открытие метода и принципиальные схемы установок. Особенности и задачи термоанализа. Эндо-и экзотермические реакции у природных объектов. Общие требования к образцам для термического анализа. Термоанализ для исследования кинетики химических реакций.

Семинарские занятия.

На семинарских занятиях в рамках каждого из разделов курса при опросе студентов в форме диалога кратко повторяется лекционный материал. После этого разбираются примеры практического применения методов. Студенты знакомятся со стандартной процедурой проведения аналитических исследований, а также нестандартными подходами, продиктованными конкретной научной задачей. Детально прорабатываются способы пробоподготовки, обработки и представления цифрового и графического аналитического материала.

Рекомендуемые образовательные технологии

При освоении дисциплины «Инструментальные методы исследования кристаллического вещества» предусматривается широкое использование активных и интерактивных форм проведения занятий. Курс использует смешанную модель обучения, предусматривающую лекционные (теоретические) и семинарские (имеющие практическую направленность) занятия. Самостоятельная (внеаудиторная) работа посвящена закреплению теоретического материала, работу с литературными источниками, ресурсами Интернет, программами обработки аналитических результатов и специализированными базами данными со свободным доступом. Студенты самостоятельно отрабатывают навыки обработки аналитических данных с помощью специализированного программного обеспечения,

графических редакторов и электронных таблиц, а также корректного представления результатов и готовятся к контрольным опросам и экзамену.

Удельный вес лекций и семинарских занятий составляет 50% и 50% всех аудиторных занятий соответственно.

При чтении лекций для наглядного представления излагаемого материала используются мультимедийные презентации, а также средства дистанционного сопровождения учебного процесса.

На семинарских занятиях, связанных с практической работой по подготовке образцов, а также при самостоятельной работе студентов используются бинокулярные лупы с цифровыми камерами и микроинтерферометр Линника.

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения контроля успеваемости

Для текущего контроля успеваемости студентов курсу «Инструментальные методы исследования кристаллического вещества» используются устные опросы, проводимые на каждом семинарском занятии, собеседование при приеме результатов самостоятельной работы. По итогам обучения проводится экзамен.

Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля и подготовки к экзамену:

- Разрешающая способность микроскопа и способы её улучшения.
- Чем определяется выбор вида микроскопии при изучении кристаллических объектов
- Оптическая микроскопия (ОМ). Возможности и ограничения.
- Аналитическая сканирующая электронная микроскопия (АСЭМ). Виды генерации процессов на массивном образце в СЭМ. Использование информативных сигналов в СЭМ
- Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ). Принципиальное отличие СЗМ от ОМ и СЭМ
- Сравнительная особенность подготовки кристаллических объектов для исследования ОМ, СЭМ и СЗМ
- Сравнительная характеристика преимуществ и ограничений методов ОМ, СЭМ и СЗМ
- Для чего предназначен метод дифракции отраженных электронов (EBSD)? Какие данные с использованием этого метода можно получить при исследовании поли- и монокристаллических материалов?
- Как описывается измеренная ориентация кристалла (кристаллитов) в системе координат образца? Что такое углы Эйлера?
- Принцип работы метода дифракции отраженных электронов в реализации на сканирующем электронном микроскопе. Как формируется и регистрируется дифракционное изображение?
- Интерпретация характеристик дифракционных изображений в методе EBSD: темные и светлые полосы, узлы, угловая ширина полос Кикучи.
- Эффект каналирования и применение FSE (Forward Scattered Electron) детекторов для анализа вариации ориентаций решетки. Как располагаются детекторы относительно образца?
- Индексирование картин электронной дифракции в методе EBSD. Преобразование Хафа.
- Алгоритм поиска решения в анализе дифракционных изображений Кикучи – определения фазы и ее ориентации.
- Факторы, определяющие качество дифракционных картин Кикучи: полировка, параметры пучка электронов, пространственное разрешение.

- Какие задачи можно решать методом дифракции отраженных электронов?
Подготовка образцов для исследования.
- Какие задачи можно решать методом электронно-зондового микроанализа?
- Преимущества электронно-зондового микроанализа (ЭЗМА) перед другими аналитическими методами (аналитической сканирующей микроскопией, масс-спектрометрией с индуктивно-связанной плазмой и лазерной абляцией).
Ограничения метода ЭЗМА.
- Какое пространственное разрешение метода электронно-зондового микроанализа и какие факторы на него влияют?
- Сравнение энергодисперсионных (ЭДС) и волновых (ВДС) спектрометров: принципы построения спектров, спектральное разрешение. Какие элементы можно измерять с помощью ЭДС и ВДС?
- Кристалл-анализаторы в волновых спектрометрах: почему используются разные кристаллы, чем они отличаются, можно ли с использованием одного кристалла измерить все элементы? Можно ли с помощью двух разных кристаллов измерить интенсивность одной линии?
- Элементное картирование при электронно-зондовом микроанализе: принципы формирования карт элементов, возможности и примеры использования.
- Подготовка образцов для электронно-зондового микроанализа. Особенности пробоподготовки монолитных образцов (горных пород и отдельных минералов), дезинтегрированных и хрупких материалов?
- Как решается проблема наложения аналитических линий и их близости в электронно-зондовом микроанализе?
- Пределы обнаружения и прогрешности измерений элементов при электронно-зондовом микроанализе. Можно ли их изменять, меняя параметры пучка электронов и условия регистрации?
- Как подготовиться к работе на электронно-зондовом микроанализаторе: какие данные необходимо сообщить аналитику и на какие его вопросы быть готовым ответить.
- Локальность КРС. Источник первичного излучения. Причины вариаций длины волны первичного излучения.
- Правило отбора ИК спектроскопии. Дипольный момент.
- Основные отличия атомной и молекулярной спектроскопии. Отличия валового анализа от локального.
- Релеевское рассеяние. Виртуальное состояние. Стоксова и антистоксова область.
- Принцип построения градуировочного графика
- Пробоподготовка для ИК и КРС
- Область применения колебательной спектроскопии
- Диапазоны ИК области. Гармонический осциллятор.
- Качественный анализ в ИК спектроскопии
- Типы движений молекул.
- Атомно-эмиссионный спектральный анализ, принцип действия метода. Механизм возбуждения спектра
- Атомно-эмиссионный спектральный анализ. Блок-схема спектрометра. Устройства ввода проб.
- Атомно-эмиссионный спектральный анализ. Блок-схема спектрометра Источники возбуждения спектров: пламена и электрические источники.
- Атомно-эмиссионный спектральный анализ. Блок-схема спектрометра Источники возбуждения спектров: Индуктивно-связанная плазма.
- Требования к лабораторной пробе. Основные правила разложения проб

- Атомно-абсорбционный спектральный анализ, принцип действия метода. Механизм возбуждения спектра
- Преимущества и недостатки атомно-абсорбционного метода анализа
- Атомно-абсорбционный спектральный анализ. Общая схема аналитического процесса
- Блок-схема атомно-абсорбционного спектрометра. Спектральные источники света
- Блок-схема атомно-абсорбционного спектрометра. Атомизаторы
- Каковы физические основы масс-спектрометрии?
- Что такое изотопы?
- Из каких основных блоков состоит масс-спектрометр?
- Устройства ввода жидкой и твердой пробы.
- Перечислите способы ионизации для масс-спектрометрии.
- Какие типы масс-анализаторов Вы знаете?
- Достоинства и недостатки метода. Области применения
- Возникновение рентгеновского спектра.
- Принципы работы рентгеновской трубки.
- Виды рентгенофлуоресцентных спектрометров.
- Виды РФА (качественный, количественный, полуколичественный).
- Пробоподготовка для метода РФА.
- Физические основы метода РФЭС
- Глубина анализа методом РФЭС и определяющие ее факторы
- Способы пробоподготовки поверхности для анализа методом РФЭС
- Химический сдвиг и возможность определения степени окисления и координации элементов в соединениях методом РФЭС.
- Области применения метода РФЭС
- Люминесценция (определение, отличие от теплового излучения, применение) + классификация по способу возбуждения (без примеров), по длительности и по механизму элементарного процесса
- Люминесценция (определение, отличие от теплового излучения, применение) + пояснение диаграммы Яблонского (что она иллюстрирует, какие пути возврата из возбужденного состояния в основное, что такое синглетный/триплетный уровни)
- Закон Стокса + кинетика затухания люминесценции (без вывода закона затухания для случая рекомбинационной люминесценции).
- Тушение люминесценции (определение и механизмы) + концентрационное тушение люминесценции.
- Тушение люминесценции (определение и механизмы) + тушение посторонними веществами люминесценции.
- Термический анализ (ТА) как метод. Применение.
- Виды термических эффектов. Примеры геологических объектов.
- Кто и в каком году предложил метод ДТА? Первые приборы ТА.
- Опишите физические явления, лежащие в основе метода ДТА. Назовите основные отличия методов ДТА, ДСК и ТГМ (термогравиметрия) друг от друга.
- Какие элементы включает в себя прибор СТА (ДТА-ТГ)?
- Изучение кинетики твердотельных реакций с помощью ТА. Какие характеристики можно вычислить с помощью безмодельной кинетики?

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине.

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: физических	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированы	Систематические знания

<p>принципов основных методов изучения морфологии, состава и строения кристаллических веществ; области применения, точность и ограничения методов.</p>			ные знания	
<p>Умения: грамотно выбирать метод исследования и/или определять последовательность методов при комплексном изучении в зависимости от научно-исследовательских или практических задач в области характеристики природных и синтетических кристаллических объектов.</p>	<p>Умения отсутствуют</p>	<p>В целом успешное умение, но не систематическое умение, студент допускает неточности не принципиального характера</p>	<p>В целом успешное умение, но содержащее отдельные пробелы</p>	<p>Сформированные навыки выбора оптимального метода (комплекса методов) для решения конкретной задачи по изучению морфологии, состава и строения природных и синтетических кристаллических объектов.</p>
<p>Владения: навыками работы с кристаллическими объектами, методикой получения научной и практической информации на основе имеющихся аналитических данных; способами обработки и представления полученной аналитической информации.</p>	<p>Навыки отсутствуют</p>	<p>Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков</p>	<p>В целом, навыки сформированы</p>	<p>Успешное владение методами обработки аналитических данных и их представления</p>

8. Ресурсное обеспечение

Перечень основной и дополнительной литературы:

- основная литература

- N.V. Chukanov, M.F. Viggasina. Vibrational (Infrared and Raman) Spectra of Minerals and Related Compounds. Springer Mineralogy. 2020, pp. 1-1369. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-26803-9>
- K. Nakamoto. Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds
- Part A: Theory and Applications in Inorganic Chemistry. Sixth Edition. By John Wiley & Sons, Inc., 2009., pp 1-419
- L. Nasdala and Ch. Schmidt. Applications of Raman Spectroscopy in Mineralogy and Geochemistry Elements, 2020, v.16, pp. 99–104, doi: 10.2138/gselements.16.2.99
- Б.А. Колесов, Раман-спектроскопия в неорганической химии и минералогии. Изд-во Сибирского отделения РАН, 2009, 153 с.
- А. Г. Булах, А.А. Золотарёв, В. Г. Кривовичев. Структура, изоморфизм, формулы, классификация минералов. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2014, 133 с.
- С.Дж.Б. Рид Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия в геологии. Техносфера, Москва, 2008 г., 232 с.
- Н.Д. Топор, Л.П. Огородова, Л.В. Мельчакова. Термический анализ минералов и неорганических соединений. Издательство МГУ, 1987, 190 с.
- Л.Г. Берг. Введение в термографию. Издательство «Наука», 1969, 395 с.
- Пупышев А.А. Атомно-абсорбционный спектральный анализ – М.: Техносфера, 2009. 782 с.
- Дробышев А.И. Основы атомного спектрального анализа СПб: СПГУ, 2000. 200 с.
- Analytical Atomic Spectrometry with Flames and Plasmas. Jose A. C. Broekaert eds. 2002/ISBNs: 3-527-30146-1 (Hardback); 3-527-60062-0 (Electronic)
- Лосев Н.Ф., Смагунова А.Н.. Основы рентгенофлуоресцентного анализа. М.: Химия, 1982, 208 с.
- Зигбан К., Нордлинг К., Фальман А. и др. Электронная спектроскопия. М.: Мир, 1971, 493 с.
- В. И. Нефедов, В.Т. Черепин. Физические методы исследования поверхности твердых тел. М.: Наука, 1983, 296 с
- Кузнецов М.В. Современные методы исследования поверхности твердых тел: фотоэлектронная спектроскопия и дифракция, СТМ-микроскопия. Екатеринбург.: издательство Института химии твердого тела УрО РАН, 2010, 43 с.
- Тимченко Е.В., Тимченко П.Е. Цифровая оптическая микроскопия: учеб. пособие Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2015. 104 с.
- С.Дж.Б. Рид Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия в геологии. Техносфера, Москва, 2008 г., 232 с.
- Миронов В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии Учебное пособие для студентов старших курсов высших учебных заведений. Нижний Новгород.: издательство Института физики микроструктур, 2004 г., 114 с.
- Метод дифракции отраженных электронов в материаловедении. Под ред. А.Шварца, М. Кумара, Б. Адамса, Д.Филда. Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2014. 544с.
- Vonlanthen P. EBSD-based investigations of upper mantle xenoliths, snowball garnets and advanced ceramics. GeoFocus, 2007, V. 18, pp. 1-114
- Пустоваров В. А. Люминесценция твердых тел. Учебное пособие. Екатеринбург: изд-во уральского университета, 2017, 128 с.
- Гришаева Т.И. Методы люминесцентного анализа: Учебное пособие для вузов. СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2003. 226 с.

- дополнительная литература

1. Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. М.: Техносфера, 2006, 384 с.
 - Q. Williams. Infrared, Raman and Optical Spectroscopy of Earth Materials. A Handbook of Physical Constants: Mineral Physics and Crystallography. 1995, pp. 291-301
 - Ernst A.J. Burke. Raman microspectrometry of fluid inclusions. Lithos, 2001, v. 55, pp. 139–158
 - L.Nasdala, D.C. Smith, R.Kaindl and M.A.Ziemann. Raman spectroscopy: Analytical perspectives in mineralogical research. EMU Notes in Mineralogy, 2004, V. 6, Chapter 7, pp. 1–63
 - Joseph I. Goldstein, Dale E. Newbury, Patrick Echlin et al. Scanning electron microscopy and X-ray Microanalysis. Third edition, 2003, 688 p.
 - В.П. Иванова, Б.К.Касатов, Т.Н. Красавина, Е.Л.Розинова. Термический анализ минералов и горных пород. Л., «Недра», 1974, 399 с. (Справочник, введение очень хорошее по термическому анализу)
 - Термоаналитические исследования в современной минералогии. Отв. Редактор Г.О. Пилюян. М. Наука, 1970,
 - Шестак Я. Теория термического анализа: Физико-химические свойства твердых неорганических веществ /Я. Шестак; пер. с англ. – М. : Мир, 1987. – 456 с
 - Пупышев А.А., Данилова Д.А. Атомно-эмиссионный спектральный анализ с индуктивно связанной плазмой и тлеющим разрядом по Гримму. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002. 202 с.
 - Introduction and Fundamentals of ICP-MS. Agilent Technologies, Inc. 2005. Publication Number 5989-3526EN
 - Robert Thomas. A Beginner's Guide to ICP-MS Spectroscopy Tutorials. Part 1-13, 2001-2002
 - Мазалов Л.Н. Рентгеноэлектронная спектроскопия и ее применение в химии. Соросовский образовательный журнал. 2000, т. 6, № 4, сс. 37-44
 - Никитенков Н.Н. Основы анализа поверхности твердых тел методами атомной физики: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012, 203 с.
 - Shchapova Y.V., Zamyatin D.A. Votyakov S.L., Zhidkov I.S., Kuharenko A.I. Cholakh S.O. Short-range order and electronic structure of radiation-damaged zircon according to X-ray photoelectron spectroscopy. Physics and Chemistry of Minerals, 2020, pp. 47:51 <https://doi.org/10.1007/s00269-020-01120-8>
 - A Guide to Scanning Microscope. Observation. JEOL. Serving Advanced Technology https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/844_en.pdf
 - Парфенов.В. А. Атомно-силовая микроскопия и ее применения в науке, технике и реставрации. Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» № 9/2015. сс. 61-70
 - Морозов И. А. Современные проблемы механики. Теория и практика атомно-силовой микроскопии [Электронный ресурс] : учебное пособие. Пермь.: издательство Пермского государственного национального исследовательского университета, 2020, 108 с.
 - Hardev Singh Virk. History of Luminescence from Ancient to Modern Times. Materials of National Conference on Luminescence and its Applications (NCLA-2014) Jabalpur, India, 2014
 - Леванов А.В., Исайкина О.Я. Практикум по физической химии. Кинетика затухания люминесценции кристаллофосфоров. – Москва - Баку, 2021. 21 с.

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы: не специализированные текстовые и графические редакторы, а также программы для работы с электронными таблицами. Лицензионное программное обеспечение не требуется.

A Guide to Scanning Microscope Observation <http://www.jeolusa.com>

в) перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

<http://database.iem.ac.ru/mincryst/> - база данных кристаллических структур МИНКРИСТ;

<http://www.mindat.org/> база данных минералов

д) Материально-техническое обеспечение дисциплины

Аудитория с мультимедийным проектором для проведения лекционных и семинарских занятий. Для самостоятельной работы с литературными источниками и базами данных используется компьютер с выходом в Интернет. Для практической работы по подготовке образцов – бинокулярные лупы с цифровыми камерами, микроинтерферометр Линника.

9. Язык преподавания – русский

10. Преподаватель – Копорулина Е.В.

11. Автор (авторы) программы Копорулина Е.В.